

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**Senzorický subsystém MR a mechanismus pro
naklápění laserového skeneru**

*Sensory Subsystem of a MR and Tilting Mechanism
for a Laser Scanner*

Student:

Jáchym Šnajdr

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Krys

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra robototechniky

Zadání bakalářské práce

Student: **Jáchym Šnajdr**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Senzorický subsystém MR a mechanismus pro naklápění laserového skeneru**
Sensory Subsystem of a MR and Tilting Mechanism for a Laser Scanner

Zásady pro vypracování:

1. Na základě podrobné analýzy dostupných senzorů pro měření vzdáleností a laserových skenerů navrhnete koncepci senzorického subsystému pro MR Hercules s ohledem na specifikované požadavky.
2. Navrhnete varianty řešení jednoduchého zařízení pro naklápění vybraného laserového skeneru kolem horizontální osy. Varianty rozpracujte do úrovně nutné pro získání parametrů potřebných k jejich systematickému posouzení. Vyberte optimální variantu.
3. Vybranou variantu detailně propracujte s využitím dostupných prostředků pro podporu konstruování.
4. Práci doplňte podrobnou technickou a výpočtovou dokumentací popisující konstrukční návrh polohovadla a koncepci senzorického subsystému. Výkresovou dokumentaci vypracujte dle pokynů vedoucího práce.
5. Práci též doložte v elektronické podobě ve formátu MS WORD a pdf a výkresovou dokumentaci v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6
- KÁRNÍK, L.; KNOFLÍČEK, R.; MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. 1. vydání. Opava: Márfy Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václav Krys, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 6.5.2011.....

Jan Čížek
.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 6.5.2011



Jáchym Šnajdr

Marty Krásové 4455/21

Ostrava- Poruba 708 00

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ŠNAJDR, J. Senzorický subsystém MR a mechanismus pro naklápění laserového skeneru. Ostrava: katedra robotiky, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 50 s. Bakalářská práce, vedoucí: Krys, V.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem jednoduchého polohovacího subsystému pro stávající mobilní robot, na kterém bude umístěn laserový skener. Polohovací subsystém má jeden stupeň volnosti a je určen pro venkovní použití. Polohování je uskutečňováno rotací v jedné ose. Rotační pohyb je vyvozen elektromotorem. Ke skenování okolí je použit laserový skener SICK LMS 200.

ANNOTATION OF THESIS

ŠNAJDR, J. Sensory Subsystem MR and Mechanism for Tilting Laser Scanner. Ostrava: Department of Robotics, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2011, 50 p. Thesis, head: Krys. V.

This thesis deals with the design of a simple pointing subsystem for the current mobile robot, on which will be placed laser scanner. Positioning subsystem has one degree of freedom and is designed for outdoor use. Positioning is carried out by rotation in one axis. Rotary motion is induced by an electric motor. To scan the surroundings is used a laser scanner SICK LMS 200.

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Václavu Krysovi za odborné konzultace při zpracování bakalářské práce.

Obsah

Seznam použitého označení	8
Požadavkový list	10
1. Úvod	11
1.2. Princip laserového měření vzdálenosti	13
1.3. Konstrukce 3D skeneru	16
2. Použité zařízení	17
2.1. Laserový skener	17
2.1.1. Technické parametry	18
2.1.2. Rozhraní	18
2.1.3. Elektronika	18
2.2. Mobilní robot Hercules	19
2.2.1. Technické parametry	19
3. Varianty řešení	21
3.1. Varianta A	21
3.2. Varianta B	23
3.3. Varianta C	25
4. Výběr optimální varianty	28
4.1. Volba požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti	28
4.2. Určení významnosti kritérií	29
4.3. Výpočty celkových indexů variant	29
4.4. Zhodnocení výběru	30
5. Konstrukce polohovacího mechanismu	31
5.1. Rám pro upevnění komponent	31
5.2. Rám pro uchycení skeneru	32
5.3. Držák skeneru	32
5.4. Rotace skeneru kolem horizontální osy	33
5.5. Hnaná a nosná hřídel	34
5.6. Rám pro motor a převodovku	34
5.7. Spojka	35
5.8. Převodovka	36
5.8.1. Základní parametry převodovky	36
5.9. Elektromotor	37

6. Úhly a rychlosti skenování	38
7. Výpočet potřebného výkonu motoru	39
7.1. Výpočet potřebného výkonu motoru pro t_{zr} a $t_{zp}=0.1s$	40
8. Kontrola valivých ložisek	42
9. Pevnostní kontrola hnané hřídele	44
9.1. Hodnoty potřebné pro výpočet	44
9.2. Výpočet předběžného průměru hřídele	44
9.3. Určení výsledného průměru hřídele	44
10. Osová vzdálenost ozubených řemenic	45
11. Montážní postup	46
12. Závěr	47
13. Seznam použité literatury	48
14. Přílohy	50

Seznam použitého označení

Označení	Význam označení	Jednotka
i	převodový poměr převodovky	[-]
T_R	limitní opakovaný kroutící moment	[N·m]
T_A	limitní hodnota středního kroutícího momentu	[N·m]
T_M	limit pro opakovaný kroutící moment	[N·m]
n_{vs}	maximální vstupní otáčky převodovky	[min ⁻¹]
I_p	moment setrvačnosti	[kg·m ²]
m	hmotnost převodovky	[kg]
P	jmenovitý výkon	[W]
n	maximální otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
U_j	rozsah jmenovitých napětí	[V]
M_j	jmenovitý moment elektromotoru	[mNm]
n_j	jmenovité otáčky elektromotoru	[min ⁻¹]
φ	celková úhlová dráha skeneru	[°]
t	potřebný čas pro jeden sken	[s]
t_c	celkový čas jednoho natočení	[s]
t_{zr}	čas zrychlení	[s]
t_{zp}	čas zpomalení	[s]
ω	úhlová rychlost	[rad·s ⁻¹]
α	úhlové zrychlení	[rad·s ⁻²]
I	moment setrvačnosti všech rotujících hmot	[kg·m ²]
M	potřebný kroutící moment	[N·m]
P	potřebný výkon	[W]
C	dynamická únosnost ložiska	[N]
C_0	statická únosnost ložiska	[N]
n_r	přípustné referenční otáčky ložiska	[min ⁻¹]
n_m	přípustné maximální otáčky ložiska	[min ⁻¹]
m_l	hmotnost ložiska	[kg]
m_r	celková hmotnost součástí na ose rotace	[kg]
F_r	zatěžující síla	[kg]
s_0	součinitel bezpečnosti pro statickou únosnost ložiska	[-]

s_{0tab}	tabulková hodnota součinitele statické únosnosti ložiska	[-]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
M_k	přenášený kroutící moment	[N·m]
τ_D	dovolené napětí v krutu	[MPa]
τ	napětí v krutu	[MPa]
W_k	průřezový modul v krutu	[mm ³]
d'	předběžný průměr hřídele	[mm]
d	vypočtený průměr hřídele	[mm]
L_w	délka ozubeného řemene	[mm]
d_{w1}	průměr roztečné kružnice malé řemenice	[mm]
d_{w2}	průměr roztečné kružnice velké řemenice	[mm]
a	osová vzdálenost	[mm]

Požadavkový list

- Použití laserového skeneru SICK LMS 200
- Umístění na přední straně mobilního robotu
- Rozebiratelnost mechanismu (minimum svárů). Co nejmenší zásah do stávající konstrukce rámu mobilního robotu
- Hmotnost celého mechanismu pod 11 kg
- Tuhost konstrukce

1.ÚVOD

Předpovědi na začátku devadesátých let tvrdily, že na sklonku tisíciletí bude v různých oblastech průmyslové výroby a servisních služeb nasazeno okolo 50 tisíc nezávisle operujících autonomních robotů. Skutečnost je však jiná. V průmyslovém prostředí jsou standardem stroje řízené magnetickou nebo optickou cestou.[1] Autonomní mobilní systémy nebo také systémy neomezené cestou jsou stále používány velmi zřídka, ačkoliv se poptávka po nich stále zvyšuje. Jedním z několika důvodů propasti mezi předpověďmi a realitou byl nedostatek dobrých a levných senzorů. Situace se však v posledním desetiletí obrací k lepšímu a tak i velmi rychlé a přesné senzory se stávají stále dostupnějšími.

Ty jsou základním a jediným prvkem robotů, které jim umožňují vnímat okolní prostředí v reálném čase a konat na základě získaných dat. Obvykle se jedná o kamery, sonarové, laserové a infračervené dálkoměry, radary, taktilní senzory, kompas a GPS. Jejich výstupní veličiny jsou následně transformovány na informace vhodné pro reprezentaci okolí robotu. Takováto zjednodušená reprezentace komplexního okolí se označuje jako mapa a celý proces jejího získávání jako mapování. Potřeba kvalitního mapování je obecně považována za jeden z nejdůležitějších problémů pro bezchybnou funkci ať už dálkově ovládaných nebo plně autonomních mobilních robotů. Tato oblast navzdory značnému pokroku stále poskytuje velké výzvy.

Dobrym příkladem je dnes již velmi známá soutěž plně autonomních mobilních prostředků *DARPA Challenge* vypsána americkou obranou organizací. Cílem druhého ročníku bylo projet trasu v pouštním prostředí v časovém limitu. Vítězem se stal vůz týmu vedeného Sebastianem Thrunem, který je jedním z průkopníků v oblasti navigace, lokalizace a mapování mobilních robotů.



Obr.1 Stanley, vítězný vůz DARPA Challenge a ukázka dat z jeho senzorů[2]

Většina všech dnešních algoritmů mapování pracuje v 2D prostoru. 2D mapování se může zdát dostačující pro prostředí, které je statické, strukturované a limitováno velikostí. Mapování nestrukturovaného dynamického a rozsáhlého prostředí zůstává stále otevřenou oblastí vhodnou pro využití 3D modelování, které má oproti 2D důležité přednosti. Např. 3D mapy ulehčují rozpoznávání různých míst při lokalizaci robotu, které by se v 2D mohly zdát stejné, jelikož 3D model prostředí je bohatší než 2D model. Dalším nedostatkem pouze 2D informací mohou být problémy s přečnívajícími (konzolovitými) objekty jako např. stoly, židle atp. 3D mapy jsou také více vhodné pro osoby zájímající se o interiéry budov, jako např. architektky nebo záchranné či vojenské složky, které se chtějí seznámit s nebezpečným prostředím, než do něj sami vstoupí.

Pro 3D mapování jsou používány stereoskopické kamery, sonary nebo laserové snímače. Komerční 2D laserové snímače jsou dostupné a v robotice dosti používané. Na druhé straně v podstatě neexistují komerční 3D skenery, které by byly vhodné pro použití u autonomních robotů v dynamickém prostředí. Laserové skenery používané v zeměměřičství nesplňují požadavky pro strojní automatizaci a robotiku, protože jsou dosti těžké, drahé a doby skenování jsou příliš dlouhé (až několik minut). Obvyklým



obr.2 ILRIS-3D- umožňuje měření v rozsahu 360°[16]



obr.3 ukázka měření ILRIS-3D [16]

řešením jak dosáhnout 3D skenování vhodného pro tyto aplikace je použití standardního 2D dálkoměru a mechanického pohonu k dosažení třetí dimenze.[2] Cílem této práce je navrhnout mechanické polohovadlo pro polohování 2D laserového skeneru, který bude sloužit pro orientaci v prostoru pro mobilní robot.

1.2 Princip laserového měření vzdálenosti

Základním principem zařízení aktivního bezkontaktního měření vzdálenosti je vyslání signálu (rádiového, ultrazvukového nebo optického) na povrch objektu a zpracování odraženého signálu k určení vzdálenosti. Použití laseru v tomto kontextu vyniká nad ostatními typy signálu z několika následujících důvodů:

- Laser poskytuje koncentrovaný paprsek s velmi malým rozptylem a odchylkami. Radiové a ultrazvukové vlny nemohou takto malého rozptylu dosáhnout.
- Laserový paprsek má velkou intenzitu a díky malému rozptyle si tuto intenzitu zachovává na velké vzdálenosti.
- Monochromaticnost laserového paprsku obecně vede ke snazšímu zpracování signálu.

Laserový paprsek je obvykle produkován laserovou diodou a příslušnou optickou soustavou. Laserová dioda převádí elektrický signál na světelnou vlnu nebo impulz. Odražený signál je detekován pomocí lavinové fotodiody. Tato fotodioda převádí zpět světelnou vlnu nebo impulz na elektrický proud. Následně jsou použity vhodné členy pro

zesílení, zpracování a filtraci signálu. Jedním z nejčastějších matematických principů měření vzdálenosti je měření doby letu laserového pulzu.[3]

Princip této metody je jednoduchý. Laserový impulz je vyslán do okolí a následně je změřen čas, který paprsku zabere cestu k cíli, odrazení a cestu zpět do detektoru. Pokud d je vzdálenost k cíli, t je doba odrazu a c je rychlost světla, potom [3]:

$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t$$

Pro bezchybné měření musí být splněna podmínka délky impulzu, která musí být menší nežli doba odrazu t . Tedy

$$t > T_p$$

nebo

$$d > \frac{1}{2} \cdot c \cdot T_p$$

Z toho vyplývá, že hlavní problém spočívá v přesném změření doby odrazu t a tudíž chyba ve výpočtu je přímo úměrná t . Odchylka 1ps tedy dává chybu vzdálenosti $\delta d = 0.15$ mm.

$$\delta d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \delta \cdot t$$

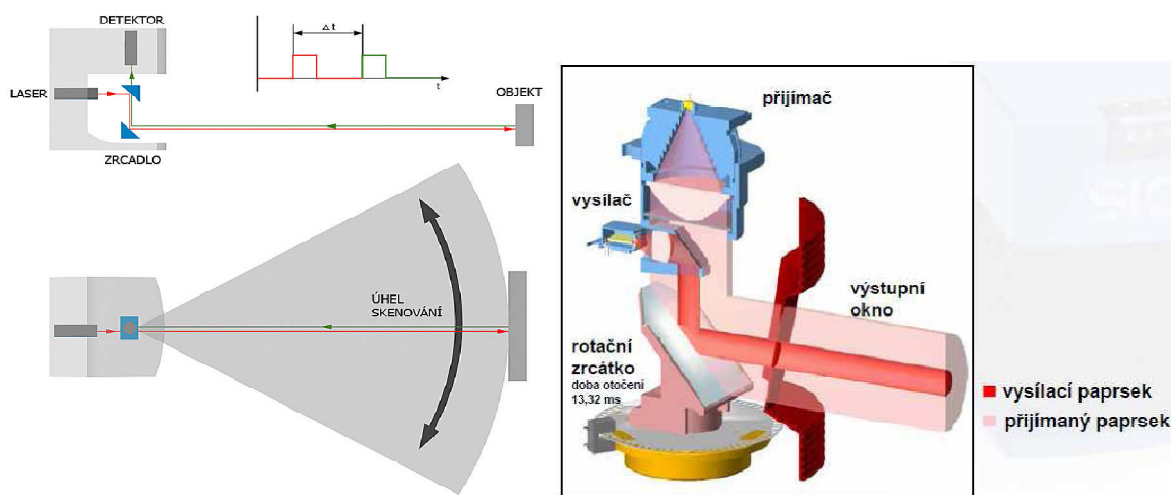
Schéma 2D skeneru je zobrazeno na obr. 4. Laserový paprsek znázorněný šipkami je vychýlen rotujícím zrcadlem. Tímto způsobem může 2D skener poskytnout body, které leží v půlkruhové rovině odklonu paprsku. Obrys cílového objektu je získán jako posloupnost přijímaných impulzů. 3D sken okolí je získán, pokud je rovina skenování otáčena v pravidelných intervalech okolo osy procházející těžištěm skeneru.

Dosah skeneru je závislý především na reflektivitě skenovaných objektů a na síle vysílaného paprsku. LMS používá přijatou energii k vyhodnocení vzdálenosti a porovnává ji s vnitřními referencemi. Hodnoty přijaté energie (reflektivity) jsou počítány pro vlnovou délku 905 nm. Reflektivita je vlastnost měřeného objektu, tj. schopnost objektu odrážet světlo, kterou nelze snadno zaznamenat. Naměřené hodnoty energetické úrovně z objektu se odvíjejí od reflektivity objektu, ale nejsou stejné jako jeho absolutní reflektivita.

Materiál	Reflektivita
Karton černý	10%
Karton šedý	20%
Dřevo	40%
PVC šedé	50%
papír bílý	80%
Hliník	110-150%

Ocel	120-150%
Leštěná ocel	140-200%
Reflektor	>2000%

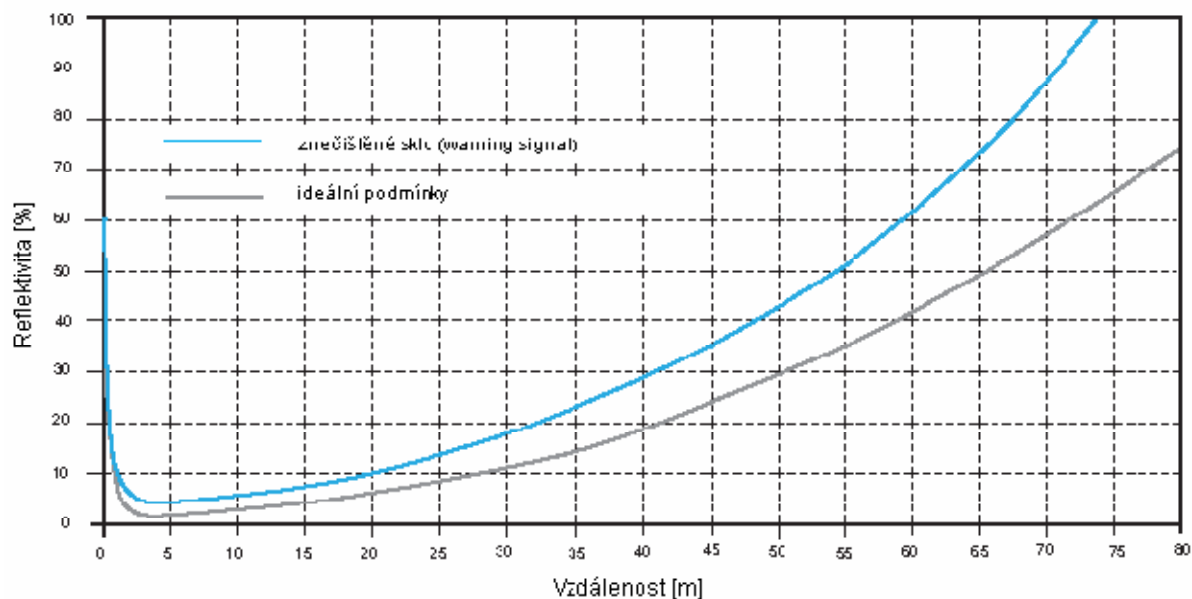
Tabulka 1.- Reflektivita některých základních materiálů[2]



Obr.4- princip laserového měření vzdálenosti[2],[5]

Tmavý testovací objekt v blízkosti skeneru může mít stejnou energetickou hodnotu jako světlý objekt ve větší vzdálenosti. Hodnoty reflektivity mohou pomoci popsat strukturní přechody materiálu ve stejné vzdálenosti. Lze ji tak využít např. pro zjišťování přechodu z bílé do černé ve stejné vzdálenosti měření.

Vztah mezi požadovanou reflektivitou materiálu a měřícím dosahem dálkoměru LMS- 291 je znázorněn v grafu č.1, ze kterého je patrné, že za ideálních podmínek je dálkoměr schopen detekovat tmavé objekty s reflektivitou pouze 10% na vzdálenost až 30 metrů. V rozmezí 0 – 1,5 metru je snížena citlivost, kvůli vlivu intenzity okolního světla na optickou soustavu, což snižuje v tomto rozmezí schopnost detekce tmavých objektů. V případě potřeby detekce tmavých, blízkých objektů se dají hodnoty citlivosti softwarově nastavit, to ovšem může způsobovat chyby měření při větší intenzitě okolního osvětlení.[2]

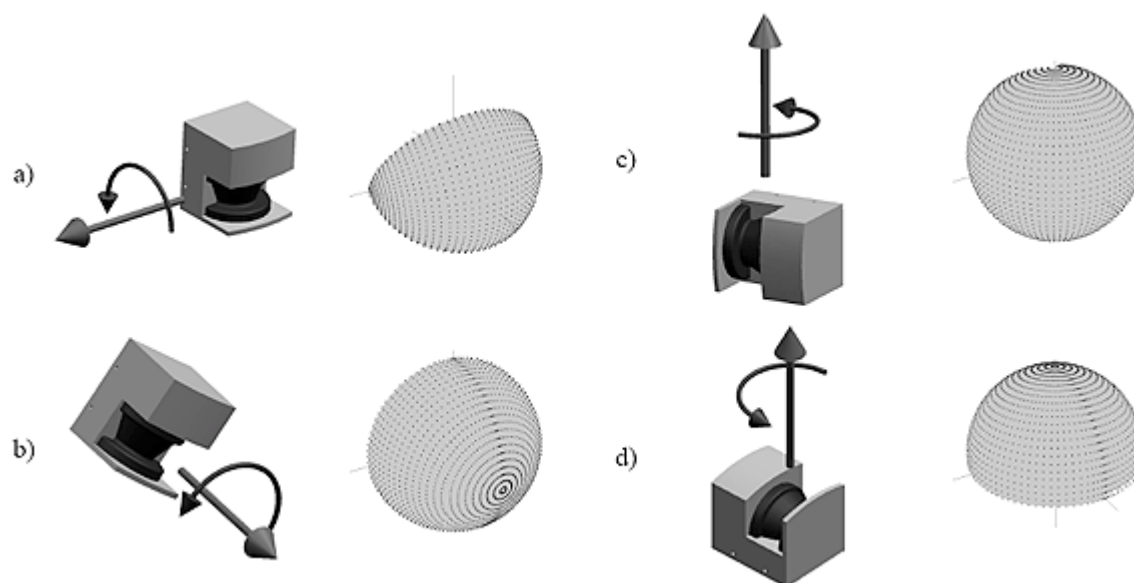


Graf 1- Vztah mezi reflektivitou a dosahem dálkoměru[6]

1.3 Konstrukce 3D skeneru

Jelikož v podstatě neexistují vhodné komerční 3D skenery je pro 3D skenování běžnou praxí použití klasického 2D skeneru a nějakého mechanického systému rotace.

V podstatě existují dvě metody: první metodou používanou u autonomních robotů je statické upevnění skeneru na tělo robotu. 3D skenu je poté docíleno otáčením samotného robotu. Tato metoda má svá omezení, např. robot není schopen detekovat pohybující se předměty a celkový proces skenování je náročnější. Druhou, častější metodou je připevnění 2D skeneru na rotační mechanismus ovládaný servomotorem. Kombinace 2D laserového dálkoměru a servomotoru umožňuje různé uspořádání rovin skenování a os rotace zorného pole. Každé uspořádání má své specifické výhody a nevýhody. Obsáhlý přehled je uveden v publikaci *Fast 3D scanning methods for laser measurement systems* [7]. Vzhledem k nepříliš vypovídajícím překladům pojmenování různých metod budu dále uvádět anglická označení. Prvním velmi častým způsobem je otáčení skeneru kolem horizontální osy (tzv. „pitching scan”) jak je zobrazeno na obr. 5a. Zde je rovina skenování horizontální s možným natočením v rozsahu 180°. Druhým často používaným uspořádáním (Obr. 4c.) je rotace kolem vertikální osy, kdy je skener natočen o 90° (tzv. „yawing scan”). U tohoto uspořádání je možný rozsah skenování až 360° bez nutnosti pohybu robotu při vhodně navrženém rotačním mechanismu. Nově používanou metodou se začíná stávat tzv. rollingscan (Obr. 4b.). Jeho předností je především největší hustota bodů přímo před skenerem, která může být v řadě případů velmi žádoucí (např. detekce osob).



Obr.5: Možnosti rotace skeneru: a) pitching scan b) rolling scan c) yawing scan d) yawing scan top [7]

Orientaci vrcholového úhlu a vlivu pohybujících se objektů na získaná data. U druhého způsobu uspořádání může s jistou pravděpodobností nastat problém s pohybujícími se objekty. Pokud by se objekt pohyboval stejnou rychlostí, jakou je prováděno skenování, tak by mohly být naměřená data zcela znehodnocena. Stejná situace by v prvním případě také ovlivnila naměřená data, ale ne tak zásadně, aby nemohla být dále zpracována.[2]

Pro mnou navržené varianty řešení uplatním rotaci skeneru kolem horizontální osy (obr 5a). Tohle řešení má výhodu v tom, že i při relativně malém natočení skeneru bude snímat dostatečný prostor před robotem. U ostatních způsobů rotace by bylo nutné, aby skener rotoval v podstatně větším úhlu, aby zachytil dostatečný prostor před robotem. Například u varianty rotace *rolling scan* (obr.5b) by mohlo dojít při malém úhlu rotace k tomu, že se bude snímat jen určitá výseč prostoru před robotem.

2. Použité zařízení

2.1 Laserový Skener

Jako laserový skener pro měření vzdálenosti je použit LMS-200 od firmy SICK. Tento skener bude umístěn v přední části robotu na naklápěcím mechanismu.



Obr.6- SICK LMS-200[13]

2.1.1 Technické parametry

Světelný zdroj	Infračervený 905 nm
Třída laseru	1(EN/IEC 60825-1), pro oko bezpečný
Zorné pole	180°
Skenovací frekvence	75 Hz
Pracovní rozsah	0-80m
Max. rozsah s 10% reflektivitou	10m
Úhlové rozlišení	0,25°; 0,5°; 1°
MTFB	80 000 h
Systematická chyba	± 15 mm
Statistická chyba	5 mm

2.1.2 Rozhraní

Funkce (Seriál RS-232, RS-422)	Host,AUX
Rychlost přenosu dat(Seriál RS-232, RS-422)	RS-232:9,6/19,2 kBd a RS-422: 9,6/19,2/38,4/500 kBd
Optické ukazatele	3 LED

2.1.3 Elektronika

Elektrické připojení	2 propojovací zástrčky s 9 piny D-Sud objímka
Provozní napětí	≤24 V DC ± 15 %
Spotřeba energie	20W
Krytí	IP 65
Hmotnost	4,5 kg
Rozměry	156x155x210

2.2 Mobilní robot “Hercules”



Obr.7- Mobilní robot Hercules[14]

2.2.1 Technické parametry

Podvozek	4kolový, nezávislé odpružení všech kol
Řízení	natáčecí zadní náprava (Ackermann)
Pohon	hnaná přední náprava s diferencíálem
Motory	DC motor pro pojezd - servo pro zatáčení - 3 Maxon EC motory pro rameno - DC motor pro chapadlo
Senzory	- laserový snímač vzdálenosti na rameni - inkrementální snímače polohy v pohonech ramene - indukční snímače parkovací polohy ramene - akcelerometr pro měření náklonu podvozku - stereovizní kamerová hlava na rameni - couvací kamera na podvozku
Řídicí systém	dálkové bezdrátové řízení všech funkcí z počítače
Přenos signálů	- Radiocrafts RC1280HP (868 MHz) pro pojezd - Wi-Fi (2,4 GHz) pro obraz z kamery (TCP) - Wi-Fi (2,4 GHz) pro řízení ramene a signály senzorů (UDP)
Rozměry	- podvozek: 990 x 710 x 675 mm - délky článků ramene: 450 mm, 860 mm (dosah 1390 mm)
Hmotnost	165 kg (140 kg podvozek + 25 kg rameno)
Nosnost	115 kg podvozek; 1,1 kg rameno

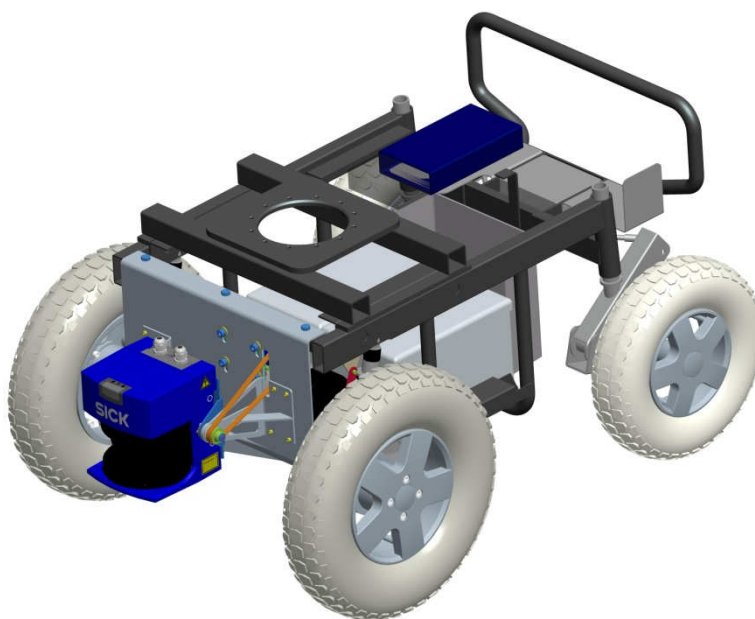
Jako podvozek tohoto mobilního robotu byl použit elektrický invalidní vozík InvaCare, konstrukčně upravený na katedře robotiky, pro uložení potřebné dodatečné elektroniky a uchycení manipulační nadstavby. Díky použití vysoce optimalizovaného a konstrukčně výborně zvládnutého podvozku má mobilní subsystém robotu vynikající parametry, zejména dojezd na baterie, nosnost, rozsah rychlostí (dokáže jet velmi pomalu i velmi rychle), výkon a manevrovatelnost (zatáčející zadní náprava s velmi malým poloměrem otáčení).

Robot je vybaven stereovizní kamerovou hlavou umístěnou na začátku posledního článku manipulátoru, což umožňuje jak neustálé sledování objektu manipulace, tak rozhlížení pomocí kamer při jízdě nebo průzkumu prostředí. V prostoru mezi kamerami je integrován laserový dálkoměr s dosahem 5 metrů. Podvozek robotu je dále vybaven třetí kamerou určenou pro navigaci při jízdě vzad.

Samotný robot je osazen dvojicí minipočítačů (Via EPIA a netbook Asus EE), z nichž na jednom běží serverová aplikace řídící pohyby manipulátoru a zpracovávající signály senzorů a ve druhém běží aplikace, která snímá a komprimuje obraz z kamer. Obě tyto serverové aplikace komunikují s klientskou aplikací (operátorský kuffík) pomocí Wi-Fi. Signály pro pojezd robotu jsou přenášeny pomocí rádiového signálu, kvůli jeho vyšší spolehlivosti v budovách a zarušeném prostředí.[14]

3. Varianty Řešení

3.1 Varianta A

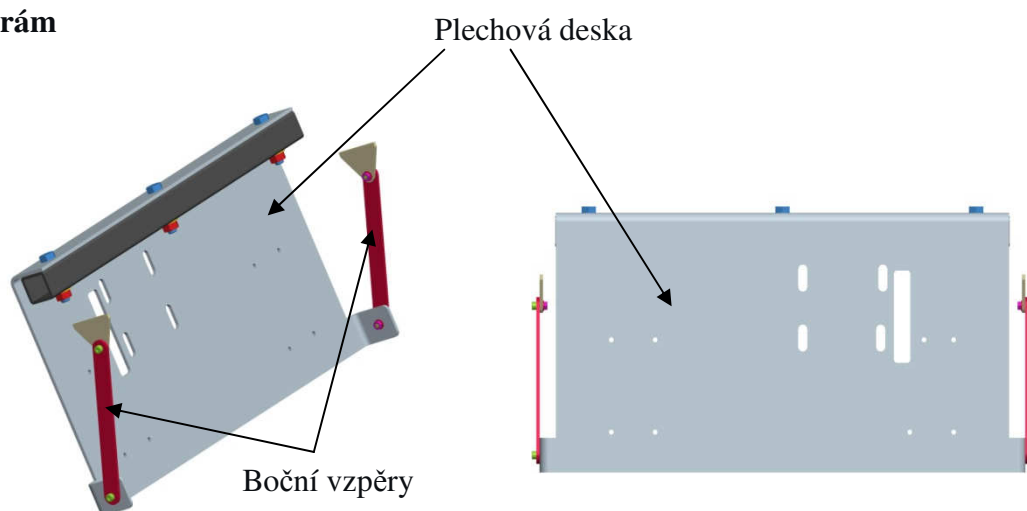


Obr.8

Rotace kolem příčné osy robotu:

V přední části MR na čtyřhranném profilu je upevněna plechová deska, která slouží jako pomocný rám pro uchycení dalších potřebných částí polohovacího mechanismu. Aby byla zajištěna dostatečná tuhost tohoto rámu, je z boku ještě vyztužen po obou stranách plochým profilem ve tvaru úzké destičky.

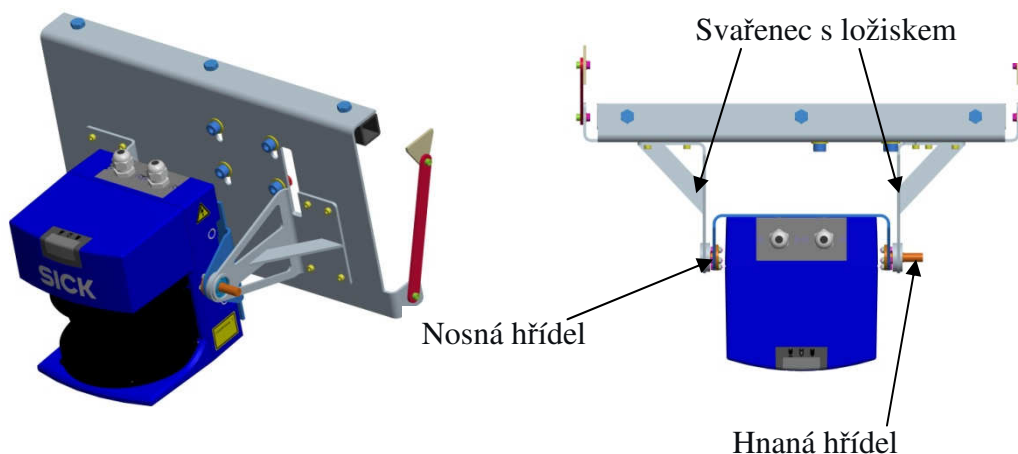
Pomocný rám



Obr.9

Na pomocném rámu jsou přišroubované dva svařence, které zajišťují rotaci pomocí kuličkových ložisek. V ložiscích jsou umístěny nosné hřídele, ke kterým je přichycen držák skeneru pomocí šroubů.

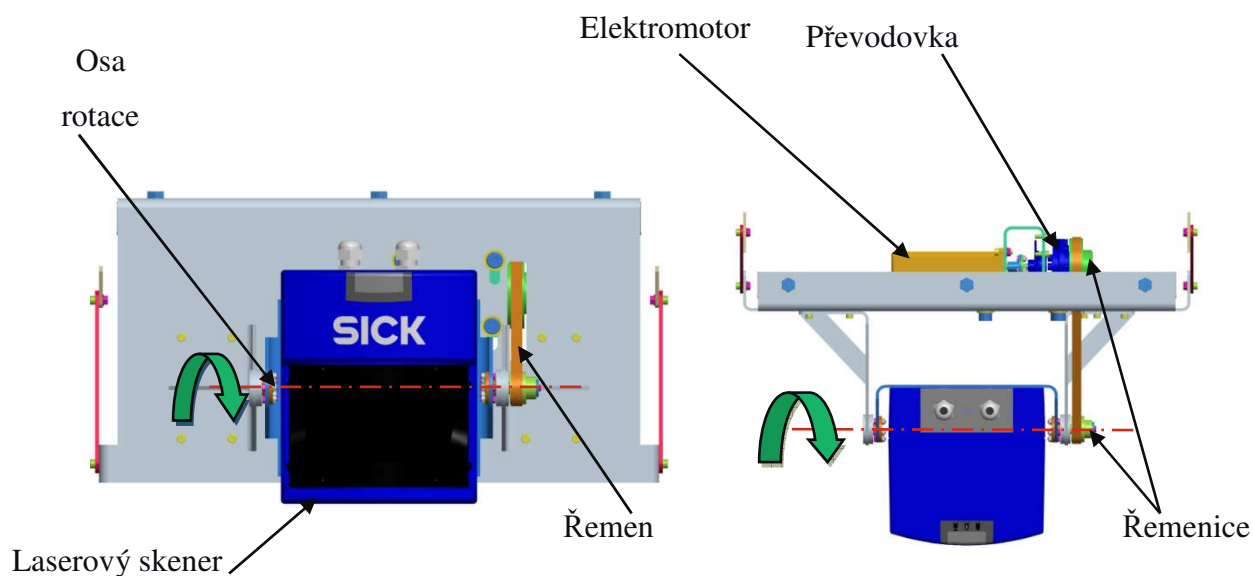
Uchycení skeneru



Obr.10

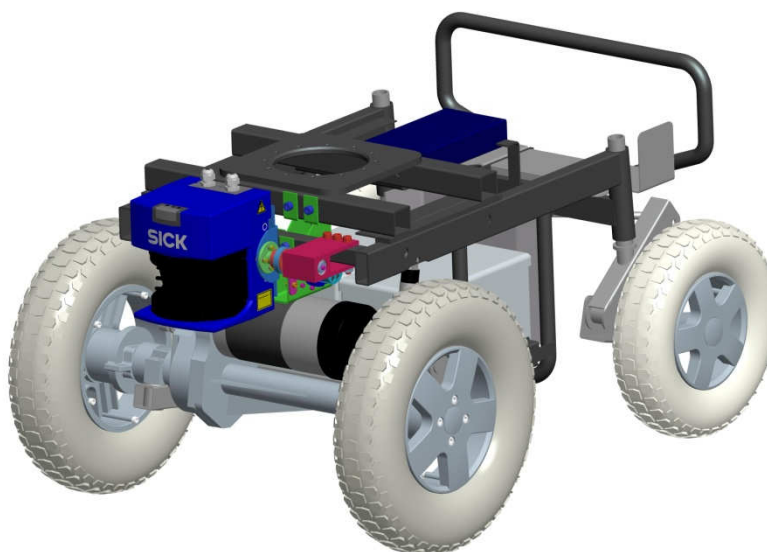
Pohon mechanismu

Pohon zajišťuje elektromotor, který přes spojku, harmonickou převodovku a řemenový převod přenáší potřebný kroutící moment na hnanou hřídel a tím vytváří rotační pohyb skeneru.



Obr.11

3.2 Varianta B

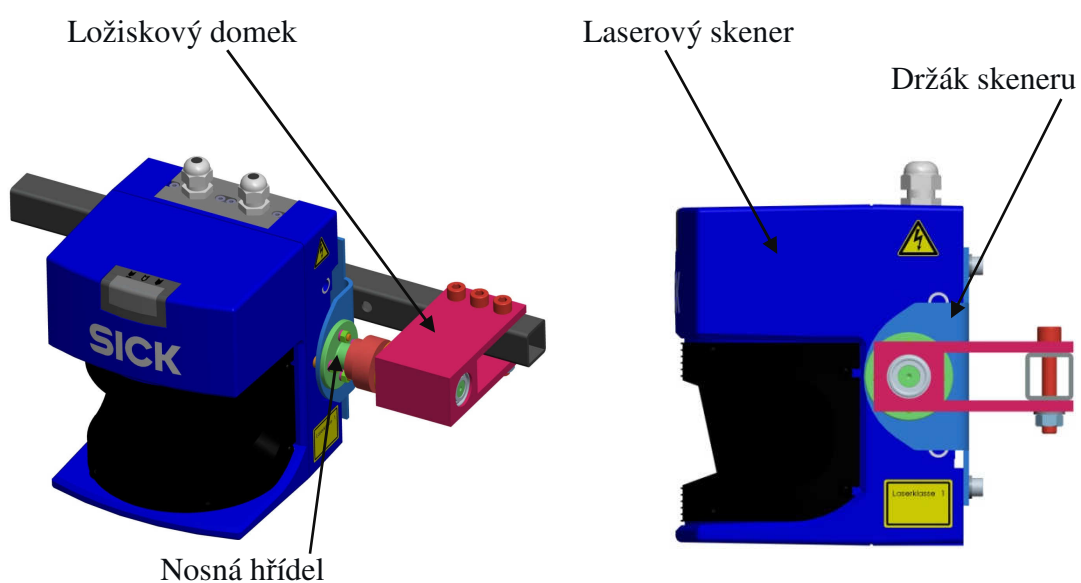


Obr.12

Rotace kolem příčné osy robotu

V přední části MR na čtyřhranném profilu je připevněn pomocí šroubu ložiskový domek, který plní funkci nosného rámu skeneru. V ložiskovém domku jsou umístěny kuličková ložiska a v nich je uložena hnaná hřídel, ke které je připevněn držák skeneru. Pomocí hřídele je realizován otáčivý pohyb.

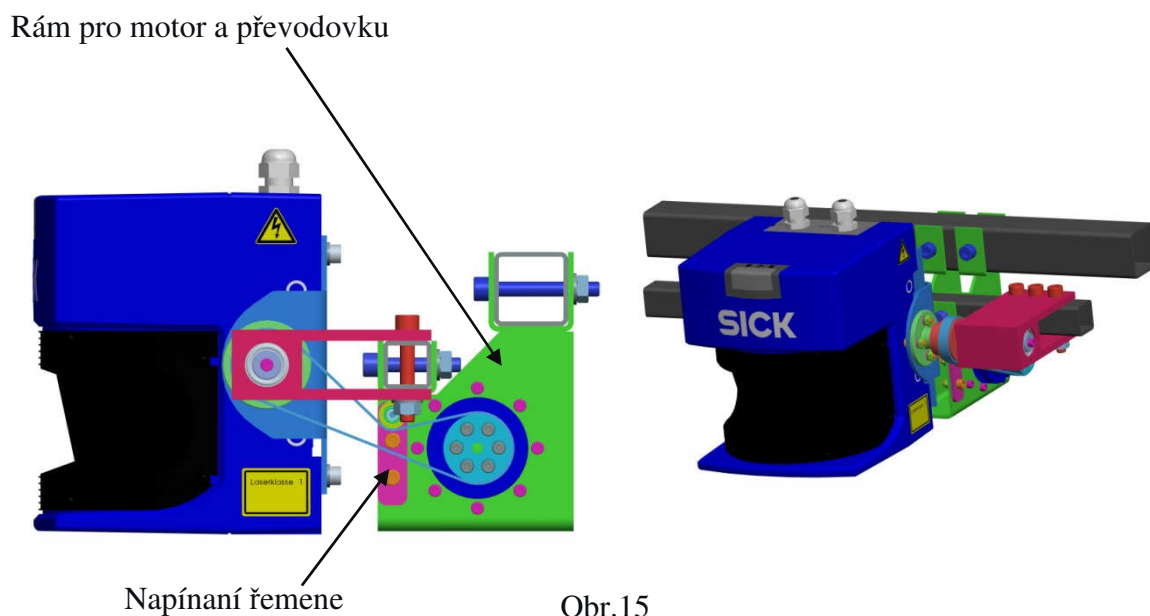
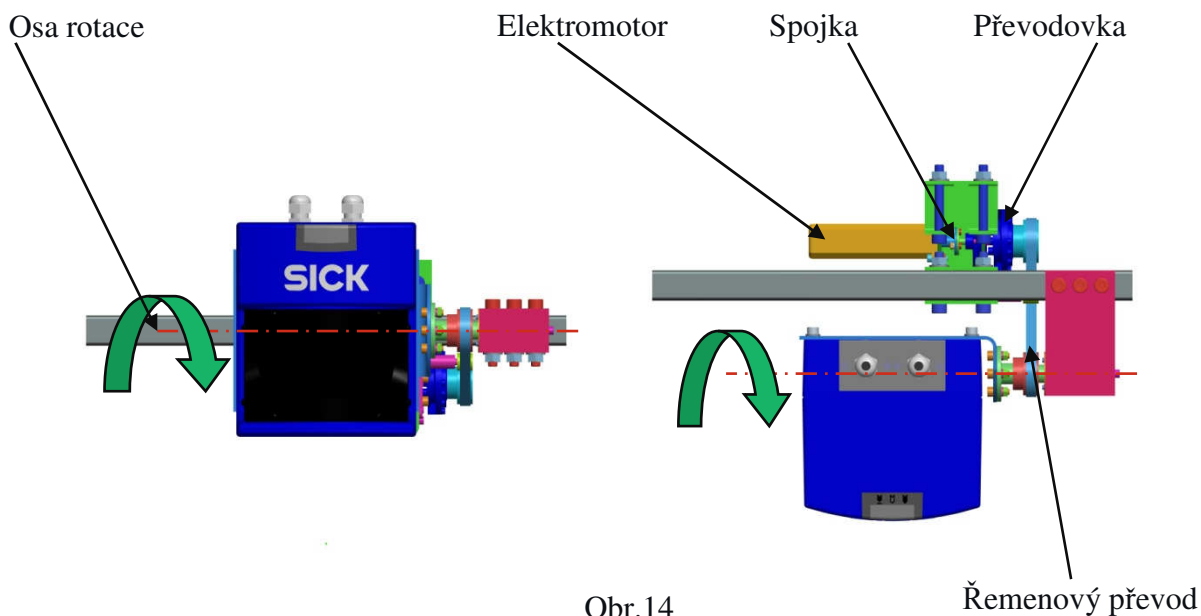
Ložiskový domek



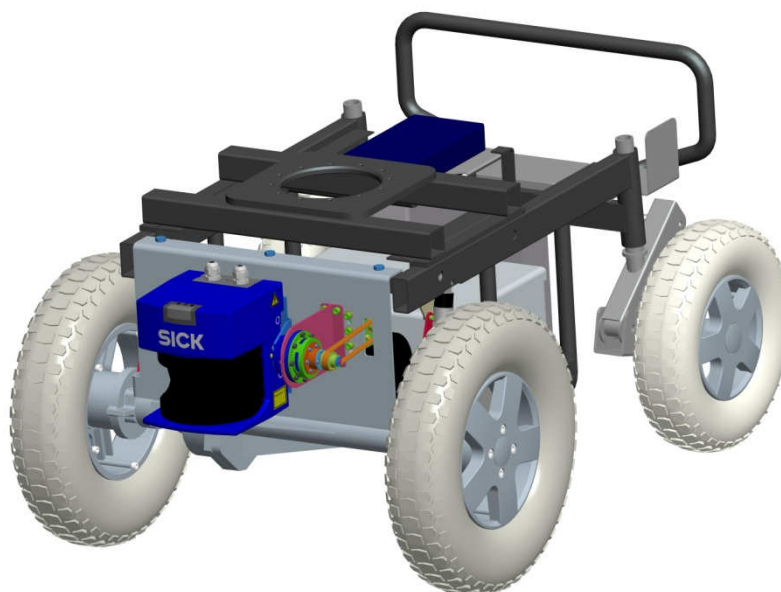
Obr.13

Pohon mechanismu

Pro pohon celého mechanismu je použit elektromotor. Potřebný kroutcí moment je přenášén pomocí spojky, harmonické převodovky a řemenového převodu na nosnou hřídel, ke které je připevněn držák skeneru, a tím způsobuje otáčivý pohyb.



3.3 Varianta C

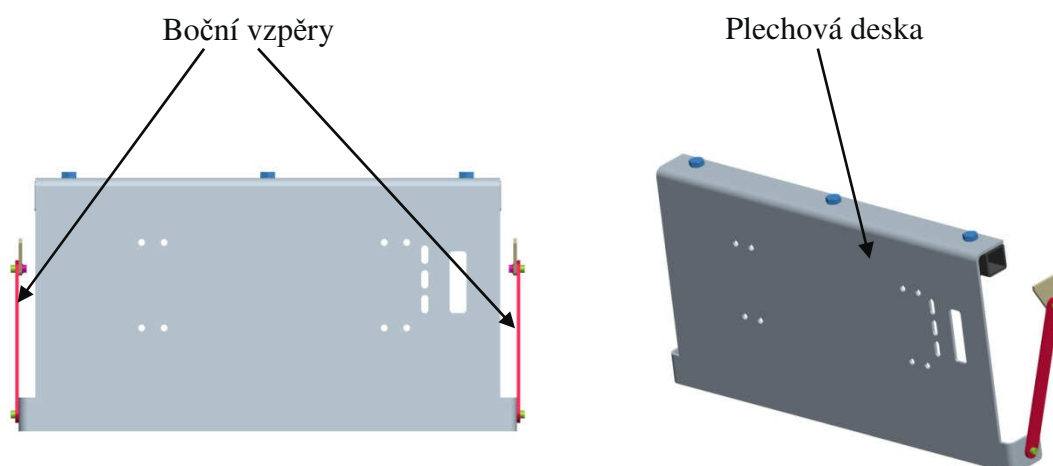


Obr.16

Rotace kolem příčné osy robotu

V přední části robotu na čtyřhranném profilu je připevněna plechová deska, která slouží jako pomocný rám pro uchycení dalších potřebných částí mechanismu. Z boku je deska vyztužena plechovými pásy pro dostatečnou tuhost.

Pomocný rám

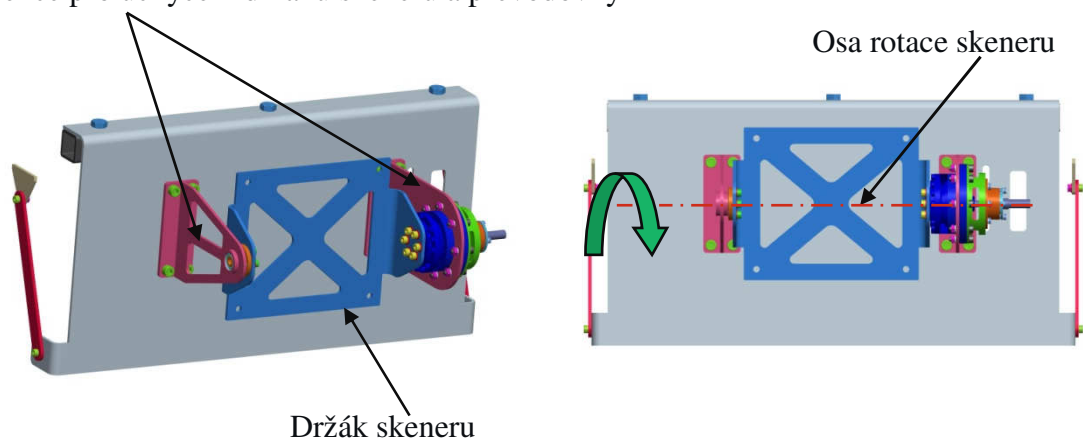


Obr.17

Na pomocném rámu jsou připevněny dva svařence, ve kterých jsou umístěny ložiska a které slouží jako nosný prvek pro držák skeneru a převodovku.

Uchycení skeneru

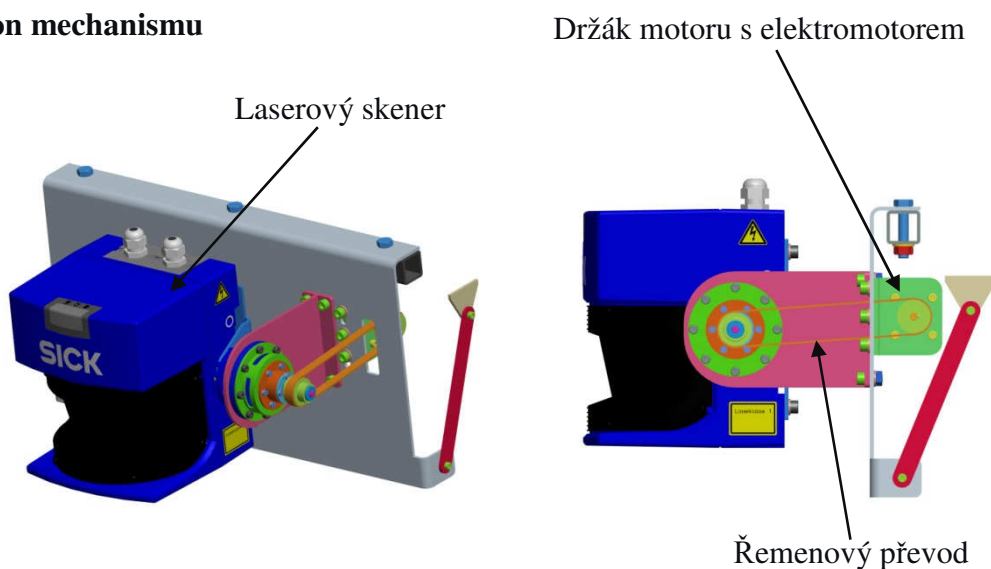
Svařence pro uchycení držáku skeneru a převodovky



Obr.18

Pohon mechanismu zajišťuje elektromotor. Ten je přišroubován k držáku a celý tento držák i s elektromotorem je uchycen z vnitřní strany plechové desky. Potřebný kroučící moment je přenášen přes řemenový převod na hřídel, která je uložena ve valivých ložiscích a dále do převodovky. Výstup z převodovky je přímo připevněn na držák skeneru a tím vyvolává otáčivý pohyb.

Pohon mechanismu

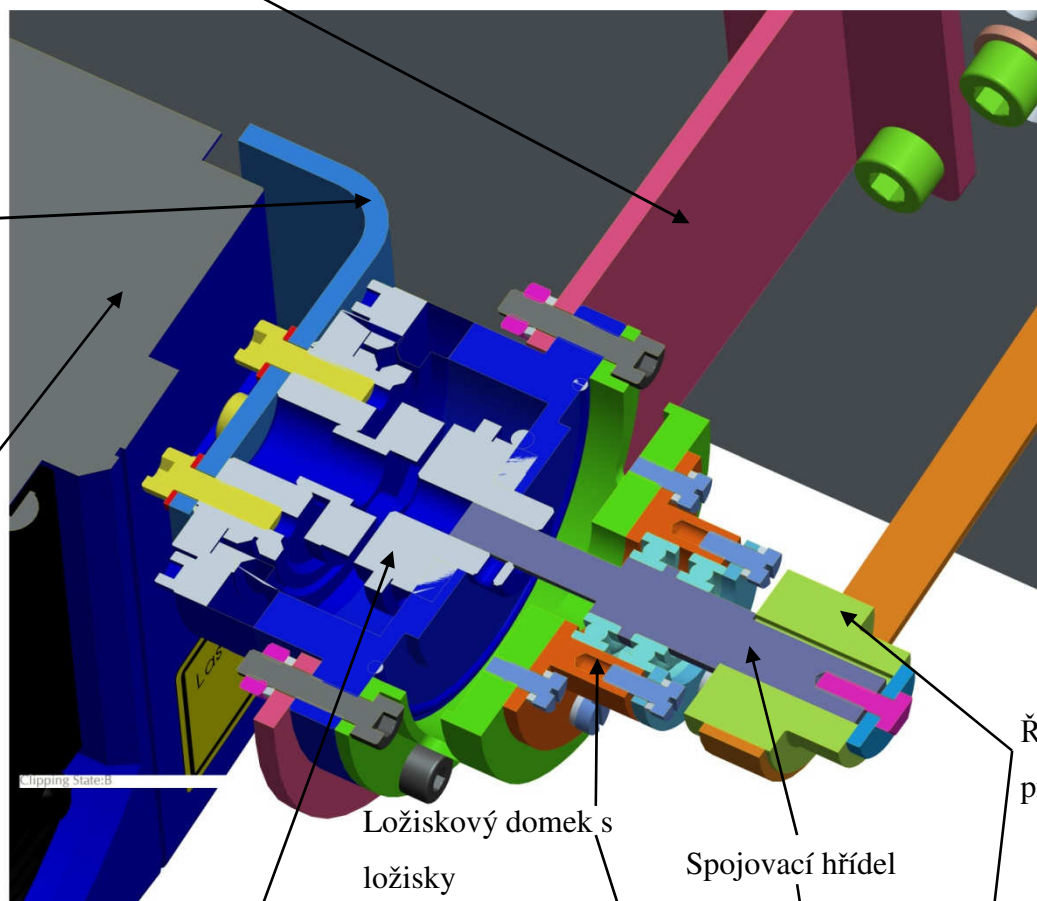


Obr.19

Rám pro uchycení převodovky

Držák
skeneru

Laserový
skener



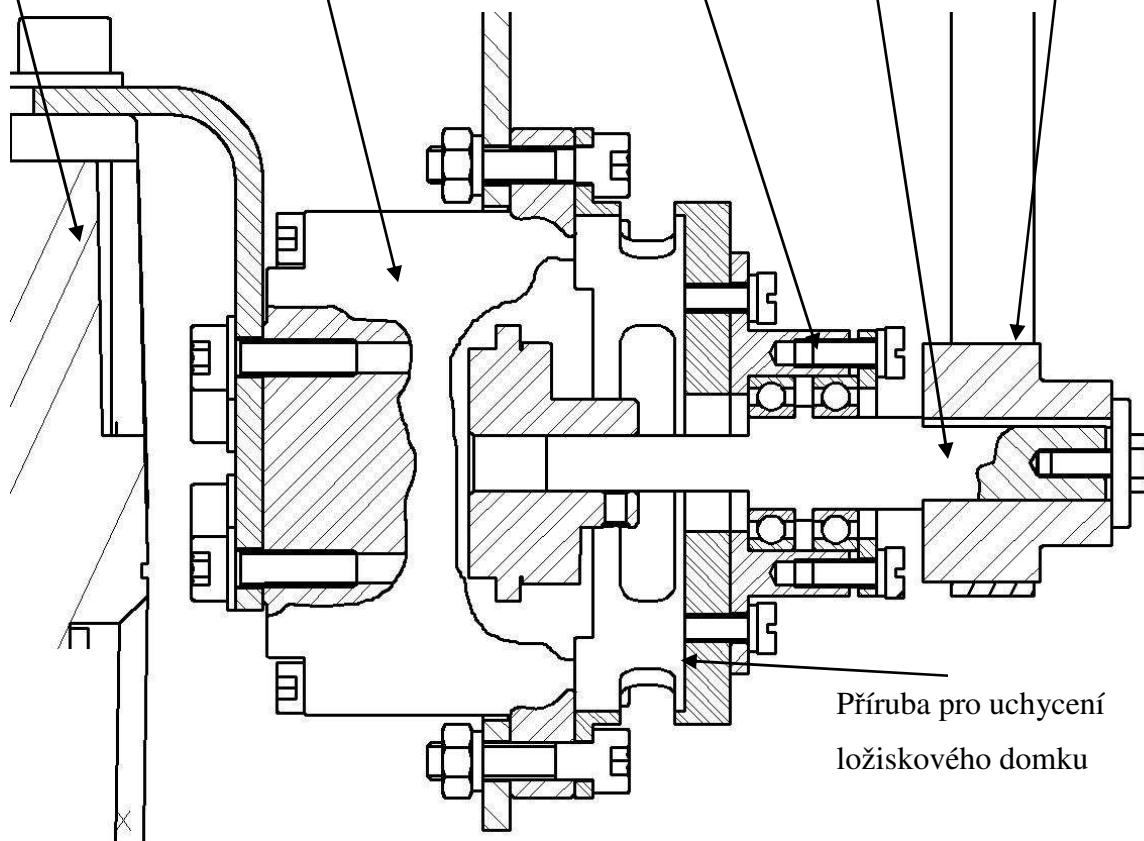
Převodovka

Ložiskový domek s
ložisky

Spojovací hřídel

Řemenový
převod

Obr. 20



Příruba pro uchycení
ložiskového domku

Obr. 21

4. Výběr optimální varianty

4.1 Volba požadovaných kritérií a přiřazení důležitosti

Pro výběr byla zvolena následující kritéria:

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	Umístění pohonu	Poloha elektromotoru
K2	Tuhost konstrukce	Tuhost konstrukce
K3	Umístění převodovky	Poloha převodovky
K4	Rozsah natočení skeneru	Rozsah natočení skeneru
K5	Hmotnost	Celková hmotnost

Tabulka 2

Přiřazení důležitosti:

Vysoká úroveň	6 b.
Dobrá úroveň	5 b.
Průměrná úroveň	4 b.
Nízká úroveň	3 b.
Nevyhovující úroveň	2 b.
Nepříznivý stav	1 b.

Tabulka 3

Pro váhu významnosti q byla zvolena lineární závislost:

$$q = 0,25 \cdot v + 0,75$$

[4.1]

4.2 Určení významnosti kritérií

K určení významnosti kritérií bylo použito metody porovnávání v trojúhelníku párů .

Porovnávané páry kritérií				Počet voleb ν	Pořadí	Váha významnosti q
K1	K1	K1	K1	3	2.	1,5
K2	K3	K4	K5	-	-	-
	K2	K2	K2	2	3.	1,25
	K3	K4	K5	-	-	-
		K3	K3	0	5.	0,75
		K4	K5	-	-	-
			K4	4	1.	1,75
			K5	1	4.	1

Tabulka 4

4.3 Výpočty celkových indexů variant

Kritérium	Varianta A		
	Hodnota důležitosti	Váha významnosti kritéria q	Vážený index lij
K1	5	1,5	7,5
K2	6	1,25	7,5
K3	3	0,75	2,25
K4	5	1,75	8,75
K5	4	1	4
Celkový součet vážených indexů varianty A:			30

Tabulka 5

Kritérium	Varianta B		
	Hodnota důležitosti	Váha významnosti kritéria q	Vážený index lij
K1	4	1,5	6
K2	6	1,25	7,5
K3	3	0,75	2,25
K4	5	1,75	8,75
K5	4	1	4
Celkový součet vážených indexů varianty B:			28,5

Tabulka 6

Kritérium	Varianta C		
	Hodnota důležitosti	Váha významnosti kritéria q	Vážený index lij
K1	3	1,5	4,5
K2	6	1,25	7,5
K3	3	0,75	2,25
K4	5	1,75	8,75
K5	4	1	4
Celkový součet vážených indexů varianty C:			27

Tabulka 7

4.4 Zhodnocení výběru

Varianta	Celkový součet vážených indexů
A	30
B	28,5
C	27

Tabulka 8

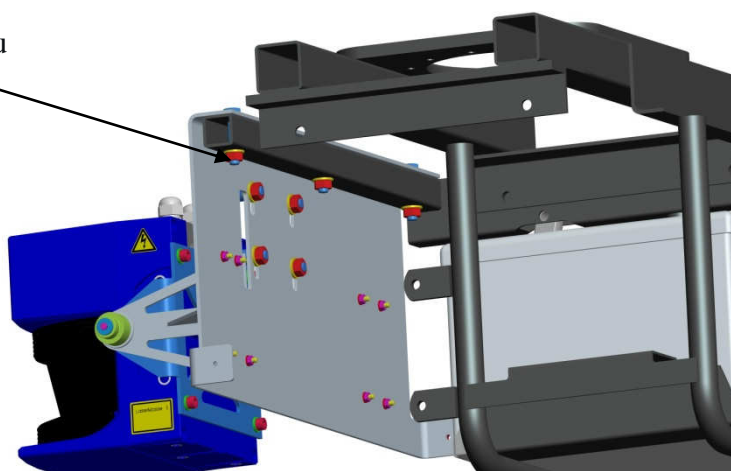
Z výsledků hodnotové analýzy se jeví varianta A jako nejvhodnější.

5. Konstrukce polohovacího mechanismu

5.1 Rám pro upevnění komponent

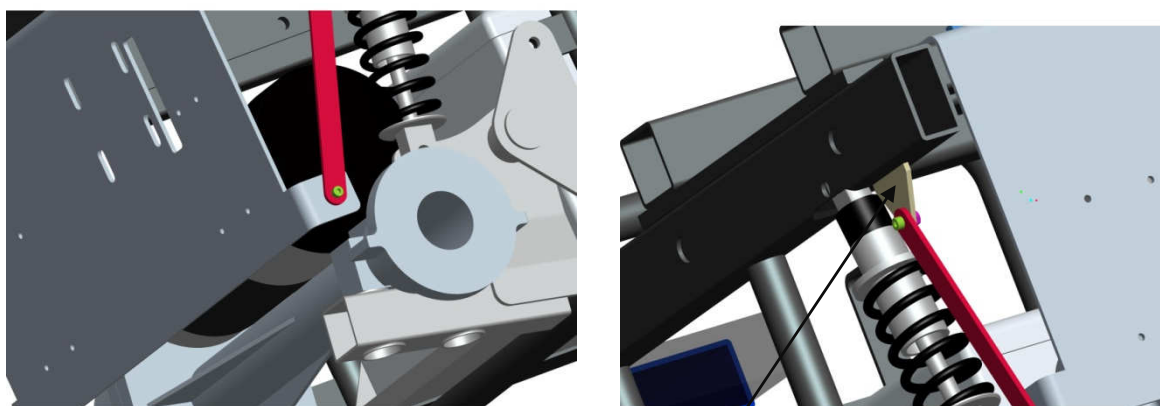
Jelikož na MR není příliš mnoho možností jak celý polohovací mechanismus upevnit, umístil jsem na přední čtyřhranný profil plechovou desku, která slouží jako nosný prvek pro další komponenty. Plech má tloušťku 3mm a k přednímu profilu je připevněn třemi šrouby M8 (obr.22).

Šrouby držící desku



Obr.22

Kvůli dostatečné tuhosti plechové desky je tato deska z boku vyztužena plochými pláty, které jsou přišroubovány ke spodní části plechové desky a oku, které je přivařeno na spodní stranu obdélníkového profilu který tvoří rám MR(obr.23).

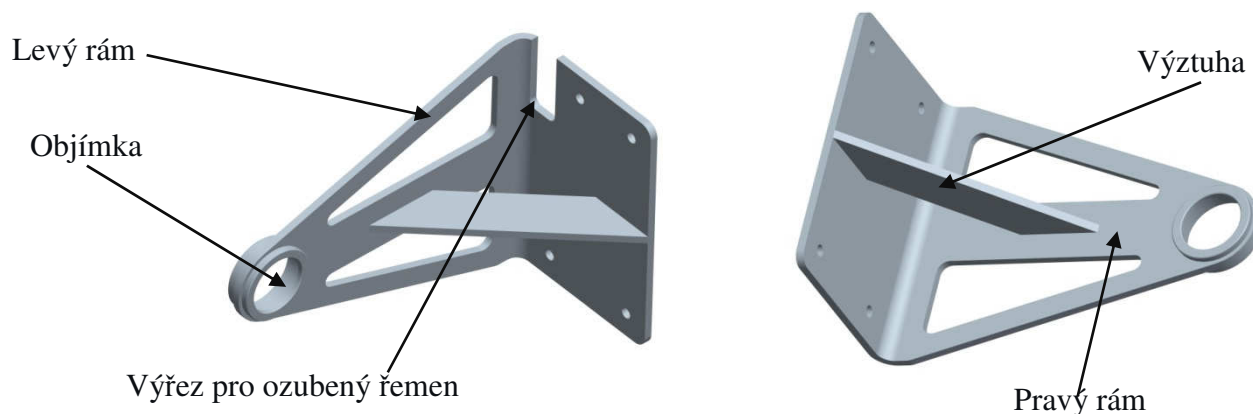


Obr.23

Oko pro upevnění výztuhy

5.2 Rám pro uchycení skeneru

Rám tvoří svařenec (obr.24) ohýbaného plechu a objímky ve které je uloženo ložisko a výztuhou pro větší pevnost. Rám který je na levé straně je ještě opatřen výřezem pro ozubený řemen. Materiál plechu a objímky je konstrukční ocel 10420.0 .

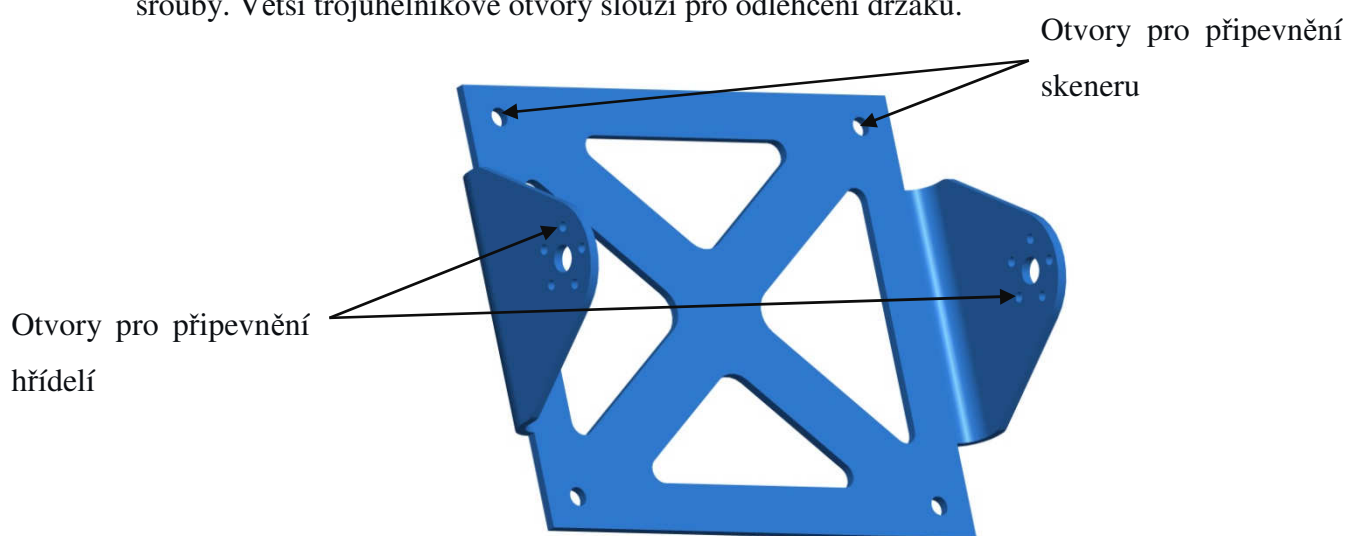


Obr.24

Každý rám je připevněn k plechové desce čtyřmi šrouby.

5.3 Držák skeneru

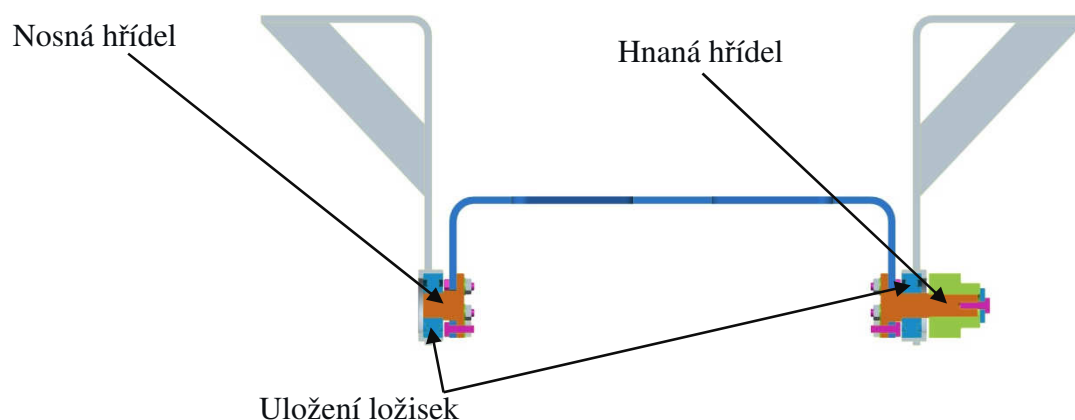
Držák skeneru (obr.25) tvoří ohýbaný plech tloušťky 3 mm. Po stranách držáku jsou otvory pro připevnění nosné a hnané hřídele. Každá hřídel je k držáku přišroubována pěti šrouby. Větší trojúhelníkové otvory slouží pro odlehčení držáku.



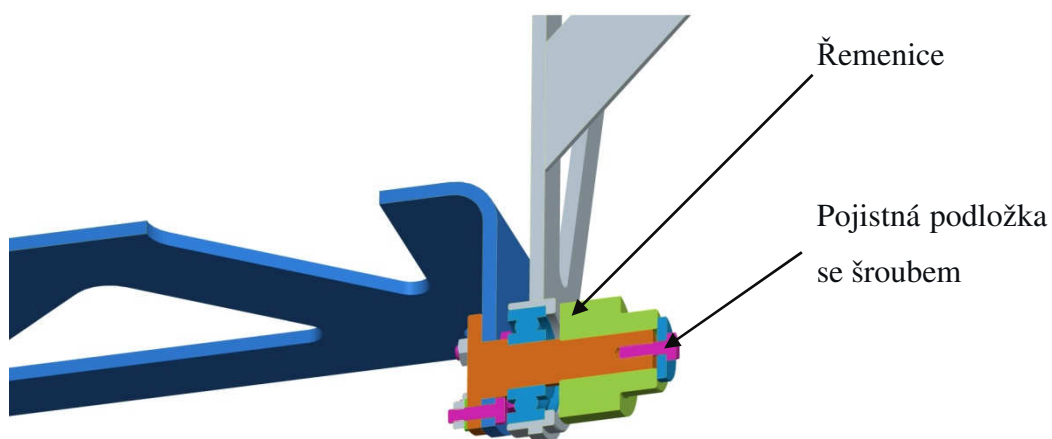
Obr.25

5.4 Rotace skeneru kolem horizontální osy

Rotace skeneru je zajišťována přenosem kroutícího momentu od elektromotoru přes převodovku a řemenový převod. Kroutící moment je přiveden na řemenici, která je spojena pomocí těsného pera s hnanou hřídelí. Řemenice je proti vysunutí zajištěna podložkou a šroubem. Hřídel je uložena ve valivých ložiscích a spojena s držákem skeneru. Tímto způsobem je přenášen kroutící moment a je zajištěna rotace skeneru v horizontální ose.



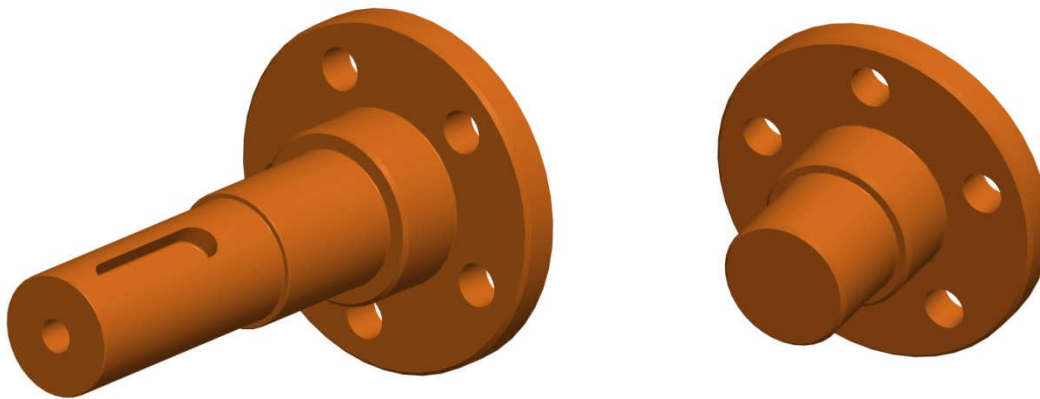
Obr.26



Obr.27

5.5 Hnaná a nosná hřídel

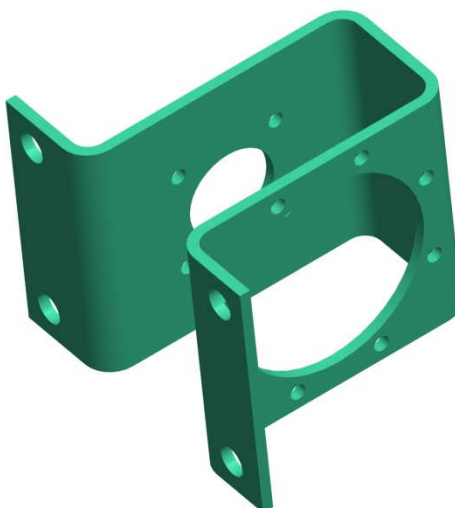
Hřídele jsou soustružené součásti z konstrukční oceli 11 373. Jsou opatřeny pěticí děr pro připevnění k držáku skeneru. Hnaná hřídel má navíc závitovou díru pro šroub k pojištění řemenice proti posuvu a drážku pro pero.



Obr.28

5.6 Rám pro motor a převodovku

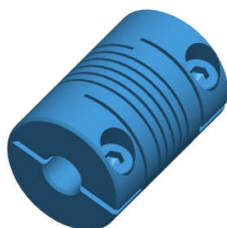
Rám (obr.29) tvoří ohýbaný plech tloušťky 3 mm. Je opatřen otvory pro připevnění motoru a převodovky a pro samotné přichycení rámu k nosné desce.



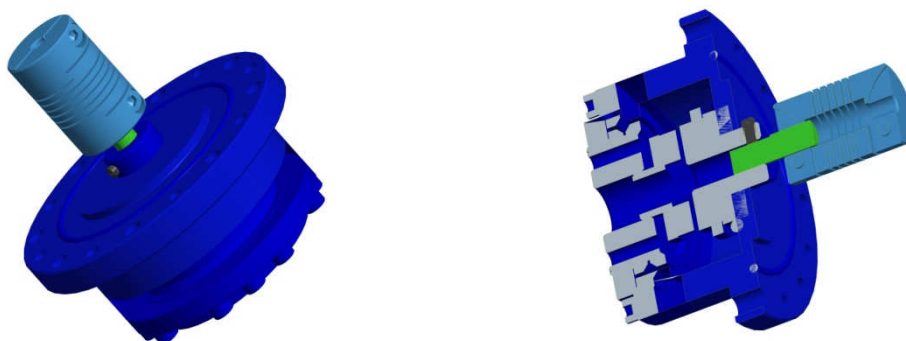
Obr.29

5.7 Spojka

Spojka slouží pro spojení motoru s převodovkou a přenos krouticího momentu. Spojku jsem zvolil spirálovou typu WKAK od firmy T.E.A. TECHNIK (Obr. 30), která má dva svěrné spoje pro přenos krouticího momentu. Jeden otvor spojky bude nasazen na hřídelku elektromotoru, do druhého se vloží hřídel, která propojí spojku s převodovkou (Obr. 31). Vložená hřídel má na straně převodovky na sobě vyfrézovány dvě plochy, které slouží jako dosedací pro šrouby, které zajišťují, aby se hřídel v převodovce nepootočila. Maximální možný přenášený krouticí moment je 0,8 Nm. Tento moment bezpečně stačí pro přenos krouticího momentu od motoru do převodovky. Další informace o spojce jsou uvedeny v příloze č.6.



Obr.30 Spirálová spojka typ WKAK



Obr.31 Spojení spojky a převodovky

5.8 Převodovka

Jako převodovka je použita harmonická jednotka *CSG-2UH* od firmy *Harmonic drive*, která slouží pro navýšení kroutícího momentu a zároveň jako nosný prvek. Jako výstup z převodovky slouží příruba, na kterou se pomocí šesti šroubů M4 upevní řemenice.



Obr.32

5.8.1 Základní parametry převodovky

Převodový poměr	$i = 100 [-]$	[5.1]
Limitní opakovaný kroutící moment	$T_R = 36 \text{ [Nm]}$	[5.2]
Limitní hodnota středního kroutícího momentu	$T_A = 14 \text{ [Nm]}$	[5.3]
Limit pro okamžitý kroutící moment	$T_M = 70 \text{ [Nm]}$	[5.4]
Maximální vstupní otáčky	$n_{vs} = 8500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$	[5.5]
Moment setrvačnosti	$I_p = 0,033 \cdot 10^{-4} \text{ [kg} \cdot \text{m}^2\text{]}$	[5.6]
Hmotnost převodovky	$m = 0,52 \text{ [kg]}$	[5.7]

Další důležité parametry převodovky viz. příloha 4.

5.9 Elektromotor

Motor vyvozuje kroutící moment, který se v převodovce znásobí a poté je vyveden přes řemenový převod na osu rotace skeneru. Z hodnot vypočtených v následujících kapitolách jsem hledal vhodný motor pro pohon mechanismu. S ohledem na potřebný vyšší kroutící moment jsem vybral elektromotor od firmy Maxon s označením EC45F IE. Tyto motory mají již integrované řízení.



Obr.33

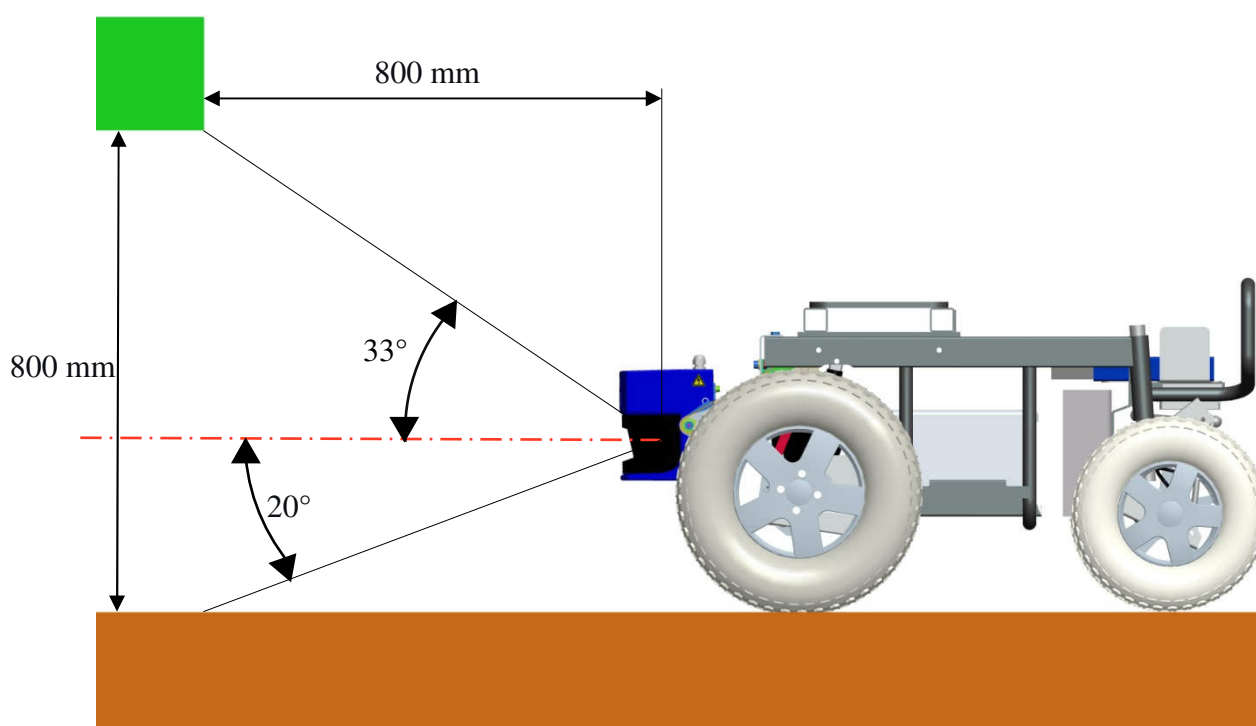
Vícepólové diskové elektronicky komutované motory jsou využívány především v aplikacích, které vyžadují malou zástavbovou délku. Hřídel motoru je uložena ve dvou kuličkových ložiskách, prochází statorem s pólovými nádstavci a je ukončena vnějším rotorem, na kterém jsou uloženy permanentní magnety. Motory mají hallové sondy, které dávají informaci o poloze rotoru.

Základní technická data:

Jmenovitý výkon	$P = 30 \text{ [W]}$	[5.8]
Maximální otáčky	$n = 7000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$	[5.9]
Rozsah jmenovitých napětí	$U_j = 24 \text{ [V]}$	[5.10]
Jmenovitý moment	$M_j = 65\text{-}91 \text{ [mNm]}$	[5.11]
Jmenovité otáčky	$n_j = 3000/6000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$	[5.12]

6. Úhly a rychlost skenování

Při určování rychlosti naklápění jsem se inspiroval videi na internetu, které zobrazovaly použití laserových skenerů na soutěžích autonomních vozidel nebo například u válečných vozidel. Skenování bude mít dva režimy. Jeden pro jízdu a detekci překážek. Druhý pro důkladné a podrobné skenování prostředí, kdy bude robot stát na místě a skener se bude naklápět velmi pomalu. Rychlost rotace skeneru a jeho rozsah pro režim jízdy volím na základě frekvence skenování. Tato hodnota je u použitého skeneru 75 Hz. To znamená, že skener provede 75 skenů v rozsahu 180° za vteřinu.



Obr.34

Hodnota 800 mm představuje výšku pod kterou robot se sklopeným ramenem projede.

Celková úhlová dráha skeneru

$$\varphi = 53^\circ \quad [6.1]$$

Přepočet úhlové dráhy ze stupňů na radiány:

$$\varphi = 53 \cdot \frac{2 \cdot \pi}{360^\circ} = 0,925 \text{ [rad]} \quad [6.2]$$

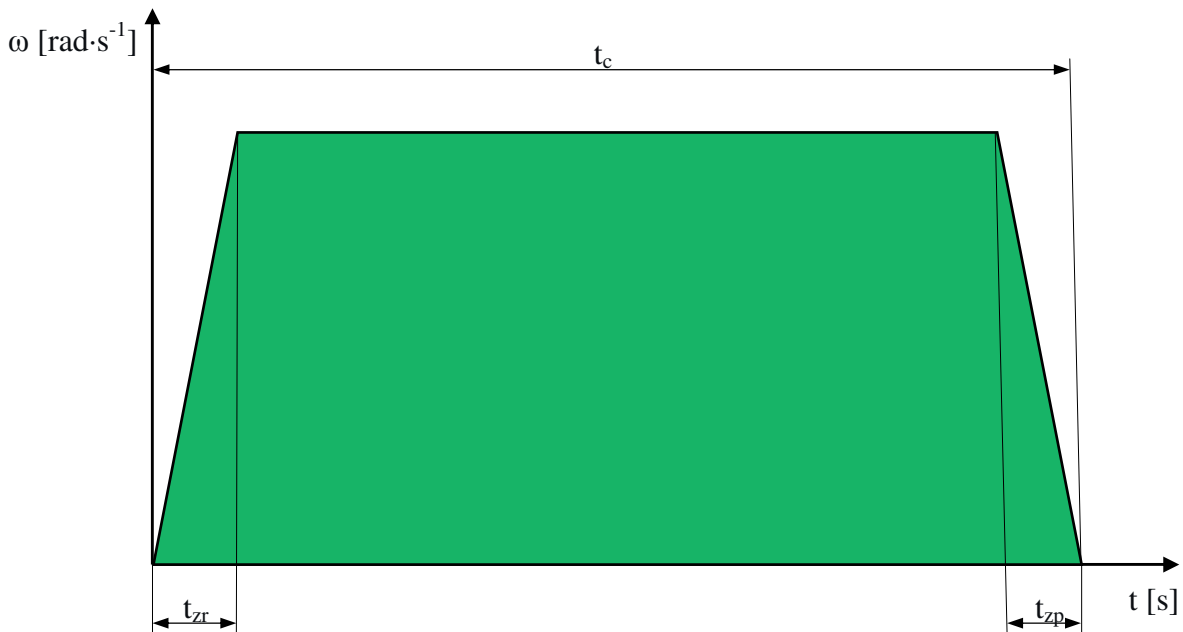
Potřebný čas pro jeden sken

$$t = \frac{1}{75} = 0,0133 \text{ [s]} \quad [6.3]$$

Celkový čas jednoho natočení:

$$t_c = \varphi \cdot t = 53 \cdot 0,0133 = 0,706 \text{ [s]} \quad [6.4]$$

7. Výpočet potřebného výkonu motoru



Obr.35

Dobu zrychlení a zpomalení volím stejnou jako dobu potřebnou pro jeden sken.

Čas zrychlení a zpomalení:

$$t_{zr} = t_{zp} = t = 0,0133 \text{ [s]} \quad [7.1]$$

Výpočet úhlové rychlosti:

$$\omega = \frac{1}{t_c} \cdot \varphi = \frac{1}{0,706} \cdot 0,925 = 1,308 \text{ [rad}\cdot\text{s}^{-1}] \quad [7.2]$$

Výpočet úhlového zrychlení:

$$\omega = \alpha \cdot t_{zr} \rightarrow \alpha = \frac{\omega}{t_{zr}} = \frac{1,308}{0,0133} = 98,35 \text{ [rad}\cdot\text{s}^{-2}] \quad [7.3]$$

$$\text{Moment setrvačnosti všech rotujících hmot } I = 0,02936 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2] \quad [7.4]$$

Tato hodnota momentu setrvačnosti byla získána analýzou v programu Pro/Engineer.

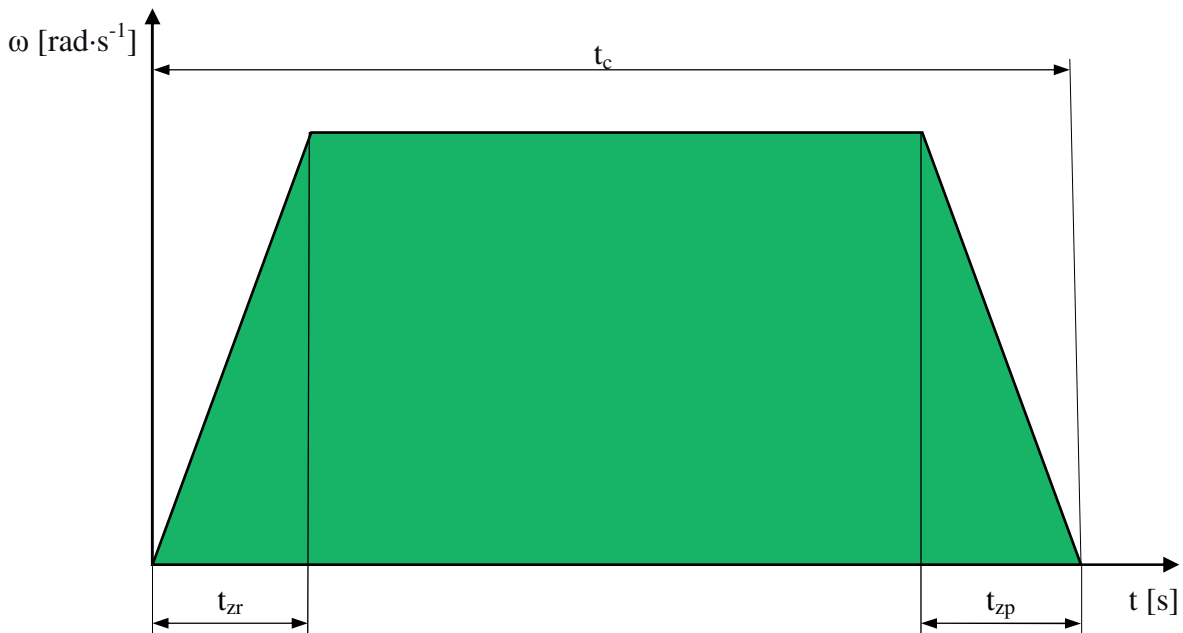
Výpočet potřebného krouticího momentu:

$$M = I \cdot \alpha = 0,029360816 \cdot 98,35 = 2,89 \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad [7.5]$$

Výpočet potřebného výkonu:

$$P = M \cdot \omega = 2,89 \cdot 1,308 = 3,78 \text{ [W]} \quad [7.6]$$

7.1 Výpočet potřebného výkonu motoru pro t_{zr} a $t_{zp}=0.1s$



Obr.36

Čas zrychlení a zpomalení:

$$t_{zr} = t_{zp} = t = 0,1 \text{ [s]} \quad [7.7]$$

Výpočet úhlové rychlosti:

$$\omega = \frac{1}{t_c} \cdot \varphi = \frac{1}{0,706} \cdot 0,925 = 1,308 \text{ [rad}\cdot\text{s}^{-1}] \quad [7.8]$$

Výpočet úhlového zrychlení:

$$\omega = \alpha \cdot t_{zr} \rightarrow \alpha = \frac{\omega}{t_{zr}} = \frac{1,308}{0,1} = 13,08 \text{ [rad}\cdot\text{s}^{-2}] \quad [7.9]$$

$$\text{Moment setrvačnosti všech rotujících hmot } I = 0,02936 \text{ [kg}\cdot\text{m}^2] \quad [7.10]$$

Tato hodnota momentu setrvačnosti byla získána analýzou v programu Pro/Engineer.

Výpočet potřebného krouticího momentu:

$$M = I \cdot \alpha = 0,02936 \cdot 13,08 = 0,384 \text{ [N}\cdot\text{m]} \quad [7.11]$$

Výpočet potřebného výkonu:

$$P = M \cdot \omega = 0,384 \cdot 1,308 = 0,502 \text{ [W]} \quad [7.12]$$

Z výpočtu je patrné, že při zvýšení doby rozběhu a zpomalení výrazně klesnou požadavky na potřebný krouticí moment a výkon motoru. To by umožňovalo použití slabšího elektromotoru případně i upuštění od použití převodovky. Tomu by se ovšem musela přizpůsobit rychlost mobilního robotu, což by mělo za následek snížení dynamiky jeho pohybu a tím pádem i menší využití jeho potenciálu. Proto uvažuji o kratších dobách zrychlení a zpomalení.

8. Kontrola valivých ložisek

Z důvodu použití mobilního robota ve venkovním prostředí jsem zvolil radiální jednořadá kuličková ložiska s krycími plechy po obou stranách. Typ 6000-2Z (viz. příloha 3).

Parametry ložiska:

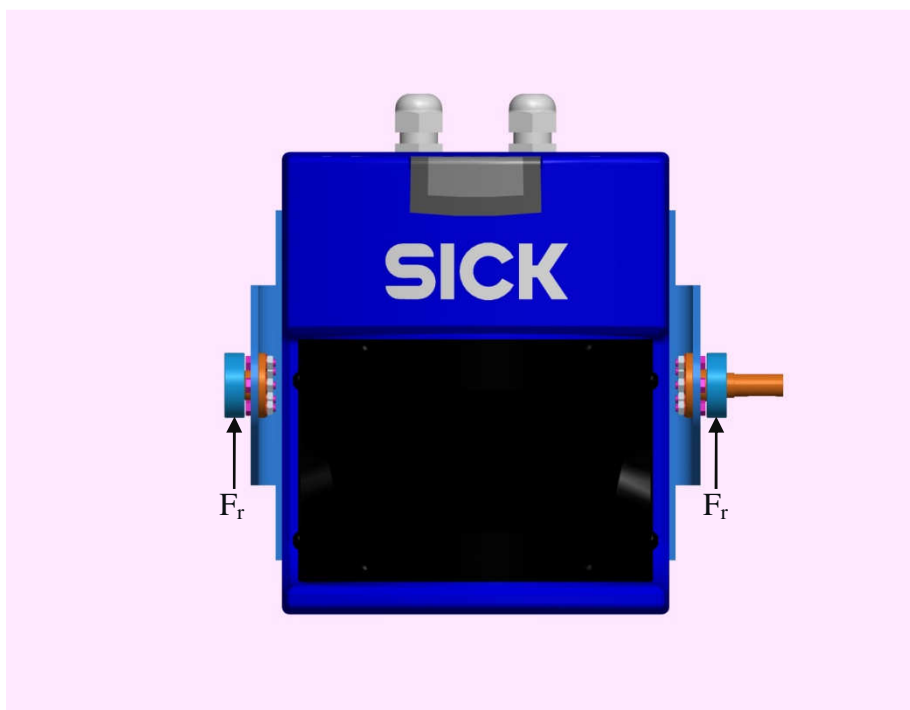
Dynamická únosnost	$C = 4750 \text{ [N]}$	[8.1]
--------------------	------------------------	-------

Statická únosnost	$C_0 = 1960 \text{ [N]}$	[8.2]
-------------------	--------------------------	-------

Přípustné referenční otáčky	$n_r = 67000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$	[8.3]
-----------------------------	---	-------

Přípustné mezní otáčky	$n_m = 34000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$	[8.4]
------------------------	---	-------

Hmotnost	$m_l = 0,019 \text{ [kg]}$	[8.5]
----------	----------------------------	-------



Obr.37

Jelikož ložiska budou zatížena i když mechanismus bude stát a také pohyb mechanismu je pouze kývavý, bude provedena jen statická kontrola ložisek.

Zatěžující síla je vyvozena z hmotnosti rotujících součástí na ose rotace. Síly působící vlivem napínání řemene budou zanedbány. Zjednodušující předpoklad pro kontrolu ložisek je ten, že obě ložiska jsou rovnoměrně zatížena.

$$\text{Celková hmotnost součástí na ose rotace} \quad m_r = 5,063 \text{ [kg]} \quad [8.6]$$

Výpočet zatěžující síly F_r :

$$F_r = \frac{m_r \cdot g}{2} = \frac{5,063 \cdot 9,81}{2} = 24,83 \text{ [N]} \quad [8.7]$$

Výpočet součinitele bezpečnosti pro statickou únosnost ložiska:

$$s_0 = \frac{C_0}{F_r} = \frac{1960}{24,83} = 78,93 \text{ [-]} \quad [8.8]$$

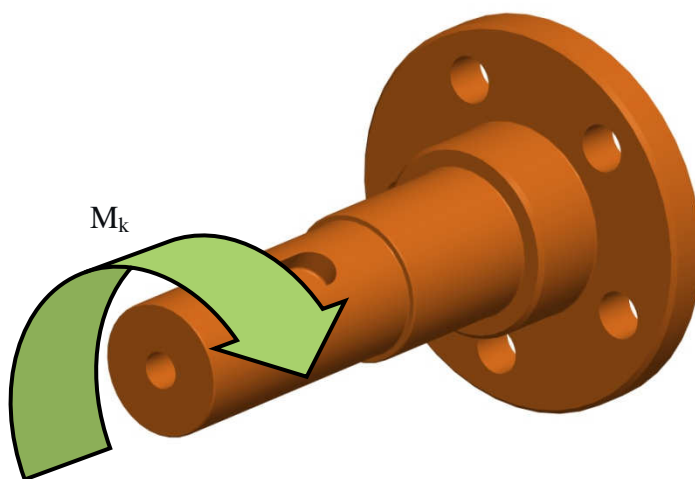
Ze strojnických tabulek [4] pro kývavý pohyb s malými úhly výkyvu, malé zatížení a pro ložiska s bodovým stykem jsem odečetl součinitel statické únosnosti $s_{0\text{tab}} = 0,2 \text{ [-]}$.

$s_0 > s_{0\text{tab}} \rightarrow$ Ložisko je silně předimenzováno ale kvůli svým rozměrům vhodné pro použití.

9. Pevnostní kontrola hnané hřídele

9.1 Hodnoty potřebné pro výpočet

Materiál hřídele	11 373.0	
Mez kluzu materiálu	$R_e = 226$ [MPa]	[9.1]
Mez pevnosti materiálu	$R_m = 370$ [MPa]	[9.2]
Přenášený kroutící moment	$M_k = 3,03$ [Nm]	[9.3]
Dovolené napětí v krutu	$\tau_D = 40$ [MPa]	[9.4]



Obr.38

9.2 Výpočet předběžného průměru hřídele

Z pevnostní podmínky v krutu určíme předběžný průměr hřídele.

$$\tau = \frac{M_k}{W_k} = \frac{M_k}{\frac{\pi}{16} \cdot d^3} \leq \tau_D \quad [9.5]$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_k}{\pi \cdot \tau_D}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3030}{\pi \cdot 40}} = 7,27 \text{ [mm]} \quad [9.6]$$

9.3 Určení výsledného průměru hřídele

Jelikož drážka pro pero zeslabuje nosný průřez hřídele, je nutno k předběžnému vypočtenému průměru připočíst hloubku drážky t [mm] pro daný průměr hřídele odečtený ze strojnických tabulek. Hloubka drážky $t = 1,1$ [mm].

Výpočet výsledného průměru hřídele:

$$d = d' + t = 7,27 + 1,1 = 8,37 \text{ [mm]} \quad [9.7]$$

Z pevnostní kontroly hřídele vyplývá že navržený průměr $d=9$ [mm] je dostatečný pro přenos potřebného kroutícího momentu.

10. Osová vzdálenost ozubených řemenic

$$\text{Délka ozubeného řemene} \quad L_w = 475 \text{ [mm]} \quad [10.1]$$

$$\text{Průměr roztečné kružnice malé řemenice} \quad d_{w1} = 26,74 \text{ [mm]} \quad [10.2]$$

$$\text{Průměr roztečné kružnice velké řemenice} \quad d_{w2} = 57,30 \text{ [mm]} \quad [10.3]$$

Osová vzdálenost a [4]:

$$a = K + \sqrt{K^2 - \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{8}} = 85,72 + \sqrt{85,72^2 - \frac{(57,30 - 26,74)^2}{8}} = 170,75 \text{ [mm]} \quad [10.4]$$

kde

$$K = \frac{L_w}{4} - 0,393 \cdot (d_{w1} + d_{w2}) = \frac{475}{4} - 0,393 \cdot (26,74 + 57,30) = 85,72 \text{ [mm]} \quad [10.5]$$

Výsledná osová vzdálenost je 170,75 [mm].

11. Montážní postup

- K rámu motoru a převodovky (pozice 11) připevníme čtyřmi šrouby elektromotor (poz. 14)
- Na hřídelku elektromotoru připevníme spojku (poz. 16)
- Do spojky vložíme spojovací hřídel (poz. 12)
- Na spojovací hřídel (poz. 12) nasuneme jednotku Harmonic Drives (poz. 15) a připevníme ji pomocí šroubů k rámu (poz. 11)
- Na přírubu jednotky (poz. 15) připevníme pomocí šroubů řemenici (poz. 18)
- K držáku skeneru (poz. 3) připevníme nosnou (poz. 6) a hnanou hřídel (poz. 7)
- Do objímek v levém (poz.5) a pravém (poz. 4) nosném rámu vložíme ložiska. Tyto rámy nasuneme na hřídele připevněné k držáku skeneru.
- Následně vše připevníme k plechové desce (poz. 2)
- Na hnanou hřídel (poz. 7) připevníme řemenici (poz. 17) a zajistíme podložkou a šroubem (poz. 8, 25)
- Z vnitřní strany plechové desky (poz.2) upevníme rám (poz. 11) s motorem a převodovkou.
- Na řemenice (poz. 17, 18) nasadíme řemen (poz.19)
- Plechovou desku (poz. 2) připevníme k přednímu čtyřhrannému profilu rámu MR a z boku k ní ještě připevníme boční vzpěry (poz. 10)
- Nakonec k držáku skeneru připevníme samotný laserový skener (poz. 13)

12. Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo navrhnout jednoduchý mechanismus pro naklápění laserového skeneru SICK pro stávající mobilní robot Hercules. Na základě provedené analýzy způsobu 3D skenování jsem vybral metodu skenování, která se mi zdála pro použití nejvhodnější. Pro tuto metodu jsem následně vytvořil tři varianty řešení a pomocí hodnotové analýzy jsem vybral optimální variantu, kterou jsem dále rozpracoval.

Největším problémem při navrhování byl způsob upevnění celého mechanismu na MR. Tento problém jsem vyřešil tím, že jsem vytvořil pomocný rám z plechu, který jsem umístil na přední čtyřhraný profil rámu robotu, připevnil třemi šrouby a z boku je ještě vyztužen pomocnými vzpěrami pro dostatečnou tuhost. Na tento pomocný rám se potom následně připevní všechny zbývající potřebné komponenty mechanismu.

O pohon mechanismu se stará elektromotor, který přes spojku, převodovku a řemenový převod přenáší potřebný kroutící moment na osu rotace.

Pro navýšení kroutícího momentu od motoru jsem zvolil jednotku od firmy Harmonic drives, která obsahuje harmonickou převodovku a zároveň tvoří nosný prvek na který se dá už přímo připevnit řemenice řemenového převodu.

Hřídel přenášející kroutící moment na držák skeneru byla pevnostně zkontrolována na krut. Danému zatížení pevnostně vyhovuje.

Hmotnost celého mechanismu se podařilo udržet pod požadovanými 11 kilogramy.

Všechny použité kovové materiály, u kterých by to bylo vhodné, by měly být natřeny antikoročním nátěrem kvůli ochraně proti vnějším povětrnostním vlivům.

V budoucnu by bylo vhodné navrhnout řízení pohonu a zpracování signálu z laserového skeneru.

13. Seznam použité literatury

- [1] SURMANN, H.; LINGEMANN, K.; NUCHTER, A.; HERTZBERG, J. A 3D laser range finder for autonomous mobile robots, in: *Proceedings of the 32nd International Symposium on Robotics (ISR'01)*, Seoul, Korea, April 2001, pp. 153–158.
- [2] FRITZ, T. *Aplikace s 3D laserovým dálkoměrem SICK*. Brno 2009, 63 str. Diplomová práce na fakultě strojního inženýrství VUT na Ústavu automatizace a informatiky. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D
- [3] SIDDHARTH J. *A survey of Laser Range Fading*. December 2003.
- [4] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. Úvaly: ALBRA- pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-86490-74-2.
- [5] UHER, O. *3D laserový dálkoměr vertikálně polohovatelný*. Brno, 2008. 37 s. Bakalářská práce na fakultě strojního inženýrství VUT na Ústavu automatizace a informatiky. Vedoucí práce Ing. Tomáš Marada, Ph.D.
- [6] SURMANN, H.; NUCHTER, A.; HERTZBERG, J. An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments, in: *Robotics and Autonomous Systems 4.*, 2003, pp. 181–198.
- [7] WULF, O.; WAGNER, B. *Fast 3D scanning methods for laser measurement systems*. Institute for Systems Engineering, University of Hannover, Germany.
- [8] NOVÁK, P. *Mobilní roboty: pohony, sensory, řízení*. 1. vydání. Praha: BEN Praha, 2005. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [9] KÁRNÍK, L. *Servisní roboty*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2004. 139 s. ISBN 80-248-0626-6.
- [10] KÁRNÍK, L.; KNOFLÍČEK, R.; MARCINČIN, J. N. *Mobilní roboty*. 1. vydání. Opava: Máfy Slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [11] KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře- Části pohonů strojů*. 1. vydání. Ostrava: VŠB- TU Ostrava, 2008. 130 s. ISBN 978-80-248-1860-3.
- [12] PODEŠVA, J. *Dynamika v příkladech*. 1. vydání. Ostrava: VŠB- TU Ostrava, 2005. 196 s. ISBN 80-7078-678-7.
- [13] [http:// www.sick.cz](http://www.sick.cz)
- [14] [http:// www.robot.vsb.cz/mobilni-roboty](http://www.robot.vsb.cz/mobilni-roboty)
- [15] [http:// www.tyma.cz](http://www.tyma.cz)
- [16] [http:// www.geovap.cz](http://www.geovap.cz)
- [17] [http:// www.skf.cz](http://www.skf.cz)

[18] [http:// www.maxon.com](http://www.maxon.com)

14. Přílohy

1. Katalogový list laserového skeneru SICK LMS 200
2. Katalogový list ozubených řemenic TYMA
3. Katalogový list kuličkových ložisek SKF
4. Katalogový list jednotky HARMONIC DRIVE
5. Katalogový list ozubených řemenů TYMA
6. Katalogový list spojky WKAK
7. Elektronická podoba bakalářské práce
8. Výkresová dokumentace
9. Záznam práce

